

2. Zu den Bemerkungen von Hrn. R. Swyngedauw über electrische Entladung; von G. Jaumann.

Herr R. Swyngedauw hat seit dem Erscheinen meiner letzten Arbeit¹⁾ über electrische Entladung in zahlreichen Abhandlungen gegen mein Entladungsgesetz Stellung genommen. Ich habe bis jetzt gezögert, hierauf einzugehen, weil ich hoffte, dass Hr. Swyngedauw bei längerer Beschäftigung mit dem Gegenstande selbst zu meinen Anschauungen sich bekehren würde, was aber nicht geschehen ist. Ich muss mir deshalb nun gestatten, an einige meiner älteren Experimente zu erinnern und im Anschluss hieran die Grundlagen der abweichenden Meinung von Hrn. Swyngedauw zu besprechen.

1. *Verzweigungsexperiment des Verfassers.* Ich habe 1888²⁾ folgendes Experiment beschrieben: Man verzweigt die Ent-

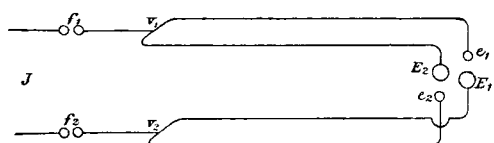


Fig. 1.

ladung einer Influenzmaschine J (Fig. 1) unter Vorschaltung der 1 mm langen Fünkchen f_1 und f_2 in zwei Entladungsstrecken $e_1 E_1$

und $e_2 E_2$, welche sich durch die *Form ihrer Electroden* voneinander unterscheiden und zwar weitaus am besten so, dass die Electroden e_1 und e_2 denselben *kleinen* Krümmungsradius (von 5 mm bis 0,5 mm), die Electroden E_1 und E_2 denselben *grossen* Krümmungsradius (über 15 mm) haben, die beiden Entladungsstrecken also centrisch symmetrisch angeordnet sind. Beide Entladungsstrecken haben ungefähr 1 cm Länge, welche so abgeglichen wird, dass die Entladung zunächst gleich leicht in beiden Strecken übergeht.

1) Jaumann, Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. zu Wien 104. Januar 1895; Wied. Ann. 55. p. 656. 1895.

2) Jaumann, Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. zu Wien 97. p. 788. 1885.

Legt man nun die innere Belegung eines kleinen Leydener Fläschens (von 30 cm Capacität), dessen äussere Belegung abgeleitet ist an *irgend einen Punkt* des verzweigten Zuleitungsdrahtes

$$f_1 v_1 \left\{ \begin{matrix} e_1 \\ E_2 \end{matrix} \right\},$$

so geht sogleich die Entladung *ausschliesslich in der Entladungsstrecke* $e_2 E_2$ über. Kein einziger Funke oder kein Büschel ist in der Strecke $e_1 E_1$ zu bemerken.

Legt man das Leydener Fläschchen an *irgend einen Punkt* der Zuleitung

$$f_2 v_2 \left\{ \begin{matrix} e_2 \\ E_1 \end{matrix} \right\}$$

an, so geht die Entladung ebenso ausschliesslich in der Strecke $e_1 E_1$ über.

Das Anlegen der Hand statt des Leydener Fläschchens hat ganz ähnliche, aber stärkere Wirkung.

Die Form der Zuleitungen

$$f_1 v_1 \left\{ \begin{matrix} e_1 \\ E_2 \end{matrix} \right\} \quad \text{und} \quad f_2 v_2 \left\{ \begin{matrix} e_2 \\ E_1 \end{matrix} \right\}$$

ist, soweit ich sehen konnte, ganz ohne Einfluss. Dieselben können kurz oder viele Meter lang sein, sie brauchen nicht gleich lang zu sein. Das Experiment gelingt im verfinsterten Zimmer. Beide Funkenstrecken wurden vor jeder zufälligen Bestrahlung durch ultraviolettes Licht und vor gegenseitiger Bestrahlung durch Schirme geschützt.

Erstes Nebenexperiment. Wenn man die Strecke $e_1 E_2$ durch ultraviolettes Licht *mässig* beleuchtet, so bevorzugt die Entladung diese Strecke. Berührt man aber jetzt den Zuleitungsdraht

$$f_1 v_1 \left\{ \begin{matrix} e_1 \\ E_2 \end{matrix} \right\}$$

mit der Hand, so springt die Entladung auf die Strecke $e_2 E_1$ über und bleibt in derselben, solange man den Zuleitungsdraht berührt, obwohl $e_2 E_1$ nicht von ultraviolettem Licht bestrahlt ist. Die Wirkung des Auflegens der Hand (der Herabsetzung der Amplitude der zu den Funkenstrecken gelangenden von der Influenzmaschine ausgehenden Drahtwellen) ist also viel stärker als die Wirkung des ultravioletten Lichtes.

Zweites Nebenexperiment. Man wähle den Krümmungsradius der Electroden e_1 und e_2 so klein, dass nicht Funken, sondern *Büschel oder Glimmlicht* in den Entladungsstrecken auftritt. Dann nähere man die Electroden der Strecke $e_1 E_2$ um *ein geringes*, so dass das Büschel eben ausschliesslich auf der Electrode e_1 sitzt, die Strecke $e_2 E_1$ jedoch eben völlig entladungsfrei ist. Nun berühre man den Zuleitungsdraht

$$f_1 v_1 \begin{cases} e_1 \\ E_2 \end{cases}$$

mit dem Leydener Fläschchen. Sogleich springt das Büschel auf die Electrode e_2 über, die Strecke $e_1 E_2$ ist völlig entladungsfrei, solange das Leydener Fläschchen angelegt bleibt. Hieraus folgt, dass die Wirkung des angelegten Leydener Fläschchens stärker ist, als der Einfluss der Erwärmung und Erleuchtung der Strecke $e_1 E_2$ durch das ursprünglich in dieser Strecke vorhandene Büschel.

Das erst angeführte Experiment bei Ausschluss alles ultravioletten Lichtes beweist, dass die *Entladung durch die statischen Eigenschaften der Endladungsstrecke nicht ausreichend bestimmt ist*. Selbst angenommen, aber nicht zugegeben, dass durch das Anlegen des Leydener Fläschchens eine geringe Verschiedenheit der Potentialdifferenz der beiden Entladungsstrecken bewirkt werden könnte, könnte doch diese Verschiedenheit die Ursache des Ausfalles des Experimentes nicht sein, denn man kann das Leydener Fläschchen mit *gleichem Erfolg* unmittelbar vor e_1 als unmittelbar vor E_2 anlegen.

2. *Die erste Mittheilung von Hrn. Swyngedauw.* Obgleich ich dieses Verzweigungsexperiment¹⁾ schon 1888 als eines der entscheidenden Experimente bezeichnet habe, ist es Hrn. Swyngedauw entgangen. Er ist jedoch selbstständig daran gegangen, ein ähnliches Verzweigungsexperiment zur Prüfung meines Entladungsgesetzes anzustellen und beschreibt den ungünstigen Ausfall desselben.²⁾

Er giebt den Electroden e_1 und E_1 *gleichen* kleinen Krümmungsradius und den Electroden e_2 und E_2 *gleichen* grossen

1) Jaumann, l. c. p. 789.

2) Swyngedauw, Compt. rend. 8 juillet 1895.

Krümmungsradius. Die centrische Symmetrie meiner Aufstellung geht damit verloren und es ist leicht begreiflich, dass dies den Ausfall des Experimentes stark schädigt. Einen Versuch mit einer besseren Anordnung der Electroden hat er nicht gemacht, nichtsdestoweniger spricht er den Satz aus: Wenn zwei Entladungsstrecken gleiches Entladungspotential bei statischer Ladung haben, so haben sie auch gleiches Entladungspotential bei dynamischer Ladung. Dass dieser Satz ganz falsch ist, geht aus meinem 7 Jahre älteren Verzweigungsexperiment hervor.

Hr. Swyngedauw hat den Ladungsmodus nicht so wie ich in der Weise variiren können, dass ein Leydener Fläschchen angelegt oder abgehoben wurde, sondern er hat entweder mit der Influenzmaschine geladen (was er „statische Ladung“ nennt) oder mit dem Ruhmkorff (was er „dynamische Ladung“ nennt). Die Wahl dieser Namen ist nicht passend und kann über die Bedeutung der von ihm ausgesprochenen Sätze irreführen.

3. *Excitation der Entladung durch stehende electrische Oscillationen.* Ich habe¹⁾ angegeben, dass Schwingungen der electrischen Kraft in der Electrodennormale, wenn sie ihre specifische Wirkung auf die Entladung in merklichem Maasse ausüben sollen, eine desto grössere Amplitude $A(c^{-1/2} g^{1/2} s^{-1}$ electrostat. Maass) haben müssen, je kleiner ihre Schwingungszahl $N(\text{sec}^{-1})$ ist. Das Product AN muss für hinreichend wirksame Schwingungen ungefähr den Werth

$$AN = 10^{10} (c^{-1/2} g^{1/2} s^{-2} \text{ electrostat. Maass})$$

haben. Diese quantitative Angabe ist der Grössenordnung nach zutreffend für einen ausserordentlich grossen Bereich von Schwingungszahlen, von $N = 10^8$ bis $N = 10^{15}$ (vgl. die Tabelle l. c.), welcher Bereich sich *vielleicht* noch vergrössern lässt durch Zuziehung der entladenden Wirkungen der Röntgenstrahlen, für welche A vielleicht ungemein klein, N vielleicht ungemein gross ist.

Die langsamsten electrischen Schwingungen, welche wir kennen, sind die stehenden Grundschrwingungen des Ruhmkorff und der Leydener Flaschen. Die excitirende Wirkung

¹⁾ Jaumann, Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. zu Wien **104**, p. 10. 1895; Wied. Ann. **55**, p. 659. 1895.

dieser extrem langsamen Schwingungen ist also, soweit sie beobachtbar sein kann, von Interesse.

Die Grundschiwingung einer Ruhmkorffspule freilich hat *nicht den mindesten merklichen excitirenden Einfluss* auf die Entladung. Denn wenn auch die Amplitude der Kraftschwingung in der Funkenstrecke, welche sie bewirkt, eine sehr grosse sein kann ($A = 10^2$), so ist doch ihre Schwingungszahl so ungemein klein ($N < 10^5$), dass das Product AN stets viel kleiner als 10^{10} ist und man keinen excitirenden Einfluss dieser Grundschiwingung auf die Entladung erwarten darf.

Das Gleiche gilt von der Grundschiwingung zwischen den Belegungen einer Leydener Flasche. Hier liegen aber doch die Verhältnisse günstiger. Zunächst kann man die zu excitirende Funkenstrecke in den Schliessungskreis der Flasche schalten. Dann ist dieser vor Eintritt des Funkens unterbrochen und es kommt nicht die Oscillation zwischen beiden Belegungen der Flasche in Betracht, sondern die *viel* kürzere zwischen je einer Funkenelectrode und der mit ihr verbundenen Belegung. Man kann so leicht die Schwingungszahlen $N = 10^8$ bis 10^9 erreichen, wenn man die Verbindungsdrähte *recht kurz* macht. Da A leicht auf den Werth 10 gebracht werden kann, also $AN = 10^9$ bis 10^{10} gemacht werden kann, so kann man deutliche excitirende Wirkungen dieser stehenden Oscillationen noch eben erreichen.

Freilich darf die untersuchte Funkenstrecke nicht etwa mit der Influenzmaschine geladen werden. Diese liefert nämlich keineswegs einen ruhigen Strom, sondern *heftige* Wellen in den Zuleitungsdrähten (für welche $N > 10^9$, $A > 10$ sein kann). Die unbeabsichtigte excitirende Wirkung dieser Wellen würde den gesuchten geringen Einfluss der stehenden Oscillation ganz verdecken. Man muss die Funkenstrecke in *wirklich statischer* Weise laden. Die Mittel hierzu habe ich angegeben.¹⁾ Den günstigen Ausfall der Versuche, die Entladung durch stehende Oscillationen eines Condensators zu excitiren, habe ich²⁾ mitgetheilt. Da es nur knapp möglich ist, dabei das

1) Jaumann, Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. zu Wien 104. p. 12. 1895; Wied. Ann. 55. p. 660. § 7. 1895.

2) Jaumann, l. c. § 30.

Product AN grösser als $5 \cdot 10^9$ zu erhalten, ist die excitirende Wirkung eine schwache und deshalb tritt die Excitation oft mit einer Verspätung von 0,1 bis 5 sec ein. (Vgl. das l. c. über *Verspätung der Excitation* mitgetheilte.)

Viel leichter ist es, mit der gleichen Aufstellung den excitirenden Einfluss Hertz'scher Strahlen nachzuweisen.¹⁾ Die Verspätung der Excitation beträgt hierbei nur 0,2 sec, sodass man über den causalen Zusammenhang der Excitation und des auftretenden Funkens nie im Zweifel ist. Freilich ist die Schwingungszahl der angewandten Hertz'schen Strahlen schon ziemlich gross (über 10^{10}).

Einfachere Form des Experimentes. Die einfachste Form, unter welcher man den excitirenden Einfluss stehender Oscillationen nachweisen kann, habe ich 1894 der physikalischen Section der Naturforscher-Versammlung mitgetheilt, aber bisher nirgends publicirt. Man verwendet eine gewöhnliche *grosse* Leydener Flasche mit beiderseits von der Erde isolirten Belegungen und verbindet mit denselben die Electroden der Funkenstrecke durch kurze Drähte und unter Vermeidung von Contactfehlern. Man entfernt die Funkenelectroden zunächst voneinander, ladet die Flasche, nähert dann die Electroden soweit, dass eben noch kein Funke springt und berührt nun eine der Belegungen der Flasche mit der Hand. Hierdurch wird die Entladung ausgelöst. Es wurde darauf gesehen, dass der kleine Funke, welcher hierbei in die Hand springt, die Electroden nicht beleuchtet.

4. *Die zweite Mittheilung von Hrn. Swyngedauw.* Hr. Swyngedauw, welchem der § 30 meiner letzten Abhandlung entgangen ist, hat selbständig das gleiche Experiment erdacht. Er wollte mit im Princip derselben Aufstellung die excitirende Wirkung stehender Oscillationen prüfen und hatte abermals ungünstigen Erfolg.²⁾

Die Ursache davon ist, dass er die *quantitativen Bedingungen* des Experimentes nicht einmal der Grössenordnung nach erfüllt hat.

Er hat die Belegungen zweier Condensatoren C_1 C_2 und

1) l. c. § 30.

2) Swyngedauw, Compt. rend. **121**. p. 118. 1895.

$\gamma_1 \gamma_2$ durch *mehrere Meter lange in Spiralen aufgerollte Drähte*¹⁾ verbunden, erzielte also keine grössere als die Schwingungszahl $N = 5 \cdot 10^7 \text{ sec}^{-1}$. Die Amplitude A konnte bestenfalls $= 1 (\text{c}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1})$ sein. Ausserdem aber schaltete er die Electroden $J_1 J_2$ der Funkenstrecke inmitten der Verbindungsdrähte $C_1 \gamma_1$ bez. $C_2 \gamma_2$ ein. Dort ist die Amplitude der Oscillation noch viel kleiner als an den Enden der Drähte.

Das Product AN der Oscillationen, welche Hr. Swyngedauw anwandte, war also *mindestens* 10^3 mal kleiner, als es nach meinen Angaben sein soll. Kein Wunder, dass er keine Wirkung dieser Oscillationen bemerken konnte.

Unrichtig war ferner die Art, wie er die Influenzmaschine zur Ladung verwendet. Vgl. die diesbezüglichen Angaben weiter oben.

5. *Die positiven Bemerkungen von Hrn. Swyngedauw.*²⁾ Es ist allen Beobachtern seit Hertz bekannt, dass *die Ruhmkorff-entladung empfindlicher gegen das ultraviolette Licht ist als die Influenzmaschinenentladung* und andere langdauernde Ladungen. Ich selbst führe dies als etwas Bekanntes vor Hrn. Swyngedauw an.³⁾ Dieser glaubt hieraus folgenden Satz entnehmen zu können: *Die Herabsetzung des Funkenpotentials durch ultraviolettes Licht ist eine wachsende Funktion der Geschwindigkeit der Potentialänderungen.*⁴⁾

Diesen Satz hält Hr. Swyngedauw für geeignet, die Stelle meines Entladungsgesetzes zu vertreten. Ich werde sogleich zeigen, dass die diesem etwas sonderbaren Satze zu Grunde liegende Erscheinung eine (sehr specielle) *Consequenz* meines Entladungsgesetzes ist.

6. *Quantitative Form des Entladungsgesetzes.* Der Entladung geht ein Vorprocess voraus, dessen Dauer T eine völlig gesetzmässige ist.⁵⁾ Dieser Vorprocess ist selbst *keine Ent-*

1) Swyngedauw, Thèses prés. à la faculté des Sc. de Paris 1897. p. 31.

2) Swyngedauw, Compt. rend. 122. p. 1032. 1896.

3) Jaumann, Wien. Akad. 104. p. 32. 1895; Wied. Ann. 55. p. 679. 1895.

4) Swyngedauw, l. c. p. 1.

5) Wied. Ann. 55. p. 678. 1895.

ladung, die Beweise hierfür sind l. c. gegeben worden.¹⁾ Der Vorprocess ist jedoch ein *electromagnetische Vorgang*, denn seine Dauer T wird nach Warburg²⁾ durch eine magnetische Kraft stark verändert.

Die zur Entladung nöthige Potentialdifferenz V ist nicht, wie man dies früher glaubte, durch die statischen Eigenschaften des Funkenfeldes (Distanz und Form der Electroden, Natur des Dielectricums) bestimmt, sondern abhängig von zwei *zeitlichen Entladungsbedingungen*, nämlich der Dauer T des Vor-

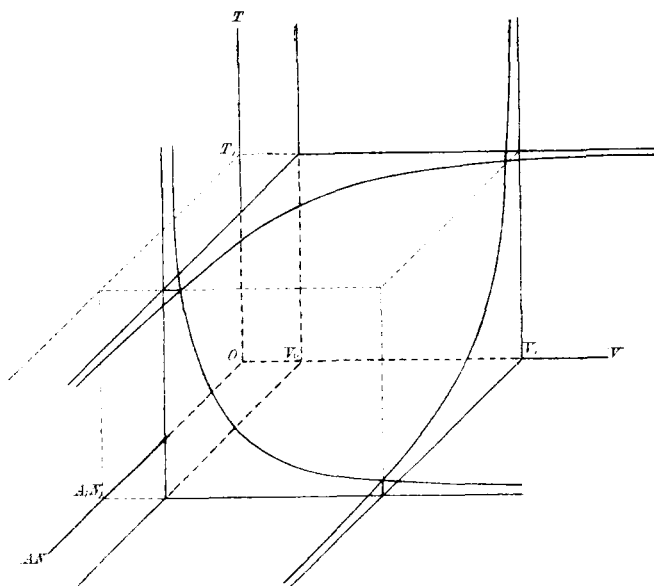


Fig. 2.

processes und der Geschwindigkeit $A \cdot N$ der Kraftschwingungen. Hierin bedeutet der Factor A die Amplitude der Schwingung der electrischen Kraft in unmittelbarer Nähe und in der Normalrichtung einer Electrode, N die Schwingungszahl derselben.

Da aber die Potentialdifferenz V doch nicht die *Ursache* der Entladung ist, sondern der Vorprocess diese Ursache ist,

1) Ebenda §§ 22 und 23 (p. 672 ff.). Beachte besonders p. 674, Zeile 5 ff.

2) E. Warburg, Berl. Akad. 1897.

so ist es besser, das Entladungsgesetz in der Form auszusprechen: Die Dauer T des Vorprocesses ist eine abnehmende Function der gegebenen Potentialdifferenz V des Feldes und der Geschwindigkeit AN der vorhandenen Kraftschwingungen (ausserdem natürlich eine Function von Form und Distanz der Electroden und der Natur des Dielectricums).

Fig. 2 stellt die Form dieser Abhängigkeit dar. Die drei Coordinaten entsprechen den Werthen T , V und $A.N$. Von der Fläche, welche den Zusammenhang zwischen diesen drei Grössen im Entladungsaugeblicke darstellt, sind drei Schnitte mit beliebigen, den drei Coordinatenebenen parallelen Ebenen

$$T = T_1, \quad V = V_1, \quad A.N = A_1.N_1$$

dargestellt. Alle diese Schnitte und alle ihnen parallelen haben zwei den Coordinatenaxen parallele Asymptoten. Sämmtliche Asymptoten liegen in den drei Ebenen: $V = V_0$, $T = 0$, $A.N = 0$.

V_0 ist nahezu jene Potentialdifferenz, welche man als *normales Entladungspotential* bezeichnet. Es tritt auf für $AN = \infty$ oder für $T = \infty$. Eines von beiden ist bei allen gebräuchlichen Arten, die Electroden zu laden, *nahezu* erfüllt.¹⁾

Die drei Schnitte $T = T_1$, $V = V_1$ und $AN = A_1.N_1$ stellen folgende drei Erscheinungen dar:

1. Der Schnitt $AN = A_1.N_1$ stellt die *Verspätung der Entladung* dar, welche zwar lange bekannt ist, welche man aber nicht für eine regelmässige Beziehung zwischen V und T ansah, die sie doch ist. Die Form dieser Schnittcurve habe ich²⁾ angegeben. Ihre Gleichung ist *ungefähr* die folgende:

$$(V^2 - V_0^2) = \text{const. } T^{-1/2}.$$

2. Der Schnitt $T = T_1$ stellt die *Excitation der Entladung* durch Kraftschwingungen dar. Die Form dieser Schnittcurve habe ich³⁾ angegeben.

3. Der Schnitt $V = V_1$ stellt die *Verspätung der Excitation* dar, welche ich für die Excitation der Entladung durch stehende Oscillationen und durch Hertz'sche Strahlen nachgewiesen

1) Vgl. hierüber Wied. Ann. 55. p. 660. 1895.

2) G. Jaumann, l. c. p. 678.

3) Wied. Ann. 55. p. 660. (Fig. 1.) 1895.

habe¹⁾ und welche Hr. E. Warburg²⁾ für die Excitation durch Licht nachgewiesen hat.

Ausser diesen drei Hapterscheinungen sind von Interesse die durch die Variation dieser Schnittcurven in den zu ihren Ebenen senkrechten Richtungen dargestellten Erscheinungen.

Man erkennt aus Fig. 2 ohne weiteres, dass sich jede dieser Schnittcurven desto mehr an ihre Asymptoten anschmiegt, je grösser die Coordinate ihrer Ebene wird. *Das stärkere Anschmiegen einer dieser Curven an ihre Asymptoten bedeutet, dass die Erscheinung, welche durch diese Curve dargestellt ist, schwerer beobachtbar wird.* Dies ist, wie ich glaube, ohne nähere Auseinandersetzung verständlich.

1. Aus der Variation des Schnittes $AN = A_1 N_1$ bei Aenderung von $A_1 N_1$ erkennt man, dass die *Verspätung der Entladung desto deutlicher* zu erhalten ist, je kleiner die vorhandenen Kraftschwingungen $A_1 N_1$ sind. Davon habe ich in meiner mehrfach citirten Arbeit³⁾ ausgiebigen Gebrauch gemacht.

2. Aus der Variation des Schnittes $V = V_1$ bei Aenderung von V_1 erkennt man, dass die *Verspätung der Excitation desto deutlicher* zu erhalten ist, je weniger die gegebene Potentialdifferenz V_1 der Electroden das *Minimalpotential* V_0 übersteigt. Hiervon habe ich ebenfalls Gebrauch gemacht.⁴⁾

3. Aus der Variation des Schnittes $T = T_1$ bei Aenderung von T_1 erkennt man, dass die *Excitation der Entladung durch Kraftschwingungen desto deutlicher* zu erhalten ist, je kürzer die gegebene *Ladungsdauer* T_1 ist. Die Ruhmkorffentladung ist also deshalb empfindlicher für Kraftschwingungen (für ultravioletes Licht und auch für Hertz'sche Strahlen)⁵⁾, weil für dieselbe T ganz ungemein klein ist, d. h. weil der Ruhm-

1) G. Jaumann, Wied. Ann. 55. p. 681. § 31.

2) E. Warburg, Berl. Akad. 12. p. 226. 1896.

3) G. Jaumann, Wied. Ann. 55. p. 656. 1859.

4) G. Jaumann, l. c. p. 632 Zeile 1 ff.

5) Wanka, Mittheilungen der deutsch. math. Ges. in Prag, 1892

korff die Electroden nur kurze Zeit geladen hält.¹⁾ Hiermit ist die von Hrn. Swyngedauw in den Vordergrund geschobene Erscheinung (vgl. oben Abschnitt 5) als eine (sehr specielle) Folgerung aus meinem Entladungsgesetze abgeleitet.

Anmerkung bei der Correctur: Mit obigen Ausführungen halte ich auch die vor Kurzem von Hrn. A. Heydweiller²⁾ erhobenen Einwürfe für erledigt.

Prag, Physik.-chem. Inst. d. deutsch. Univ., 3. Juli 1897.

1) Uebrigens dürfte auch für die höheren Schwingungen des Ruhmkorff und für die zufälligen in ihm auftretenden Drahtwellen das Product $A \cdot N$ kleiner sein als für die Schwingungen und Wellen der Influenzmaschine, sodass vielleicht auch deshalb die Wirkung einer hinzugefügten Schwingung $A A N$ (Bestrahlung durch Licht) bei der Ruhmkorffladung deutlicher ist.

2) A. Heydweiller, Wied. Ann. 61. p. 541. 1897.

(Eingegangen 10. Juli 1897.)